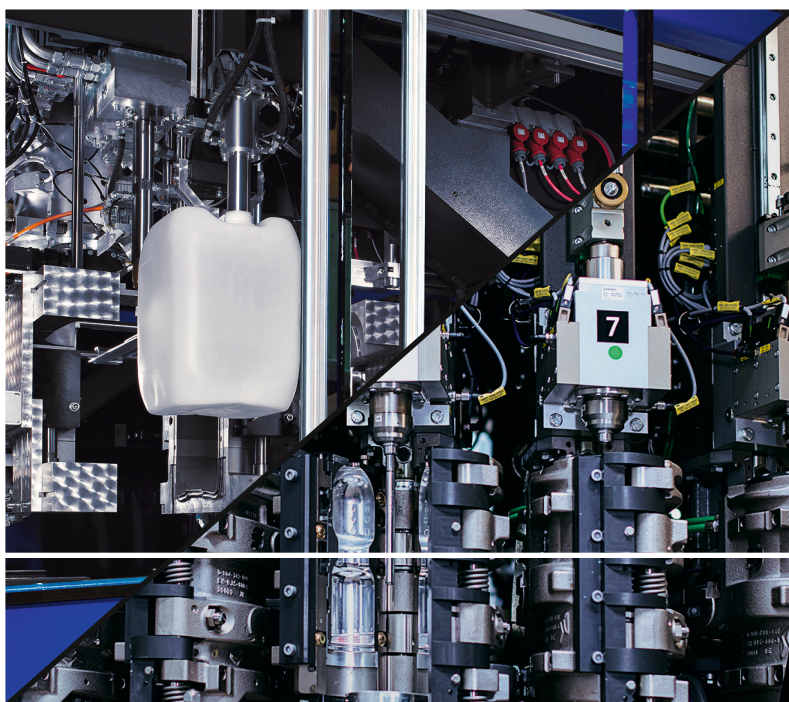


Michael Thielen
Klaus Hartwig
Peter Gust

Blasformen

von Kunststoffhohlkörpern



2., aktualisierte Auflage

HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen
stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue
Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Michael Thielen
Peter Gust
Klaus Hartwig

Blasformen

von Kunststoffhohlkörpern

2., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Dr.-Ing. Michael Thielen, www.bioplasticsmagazine.com

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Gust, Universität Wuppertal

Dr.-Ing. Klaus Hartwig, MARS GmbH (Petcare)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [<http://dnb.ddb.de>](http://dnb.ddb.de) abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2020 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Ulrike Wittmann

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

Bildquelle Cover: Krones AG und Kautex Maschinenbau GmbH

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Druckerei Hubert & Co GmbH und Co KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-45552-8

E-Book-ISBN: 978-3-446-45856-7

Inhalt

Vorwort	XI
Die Autoren	XIII
Verzeichnisse: Kurzzeichen, Abkürzungen und Formelzeichen	XV
1 Einführung	1
1.1 Hohlkörper aus Kunststoff – wozu?	1
1.2 Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus Kunststoff	1
1.2.1 Thermoplaste	1
1.2.2 Duroplaste	2
1.3 Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper	3
1.4 Historie des Blasformens von Hohlkörpern	7
1.4.1 Entwicklung der PET-Streckblastechnologie	13
2 Extrusionsblasformen	15
2.1 Prozessablauf beim Extrusionsblasformen	15
2.2 Rohstoffe	17
2.2.1 Kunststoffe	17
2.2.2 Kunststoffe für das Extrusionsblasformen	22
2.3 Maschinentechnik	24
2.3.1 Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine	24
2.3.2 Extruder und Schnecken	25
2.3.2.1 Glattrohrextruder	26
2.3.2.2 Nutbuchsen-Extruder	27
2.3.2.3 Gravimetrische Durchsatzregelung	31
2.3.3 Schlauchköpfe	33
2.3.3.1 Stegdornhalterköpfe	33
2.3.3.2 Pinolenköpfe	36
2.3.3.2.1 Wendelverteilerköpfe	38
2.3.4 Kontinuierliche/diskontinuierliche Extrusion	39
2.3.5 Wanddickensteuerung	43
2.3.5.1 Schwellverhalten des Vorformlings	44
2.3.6 Systeme zur Beeinflussung der radialen Wandverteilung	46
2.3.6.1 Warum radiale Wanddickensteuerung?	46
2.3.6.2 Statisch flexibler Düsenring (SFDR®)	47

2.3.6.3	Partielle Wanddickensteuerung (PWDS®)	48
2.3.6.4	Wanddicken-Lagen-Steuerung	53
2.3.7	Schließeinheiten	56
2.3.8	Steuerungen	62
2.3.8.1	IPC-Steuerung (Industrie-PC)	64
2.3.9	Kühlung	65
2.3.9.1	Schwindung und Verzug	65
2.3.10	Luft	68
2.3.11	Einzel-/Mehrfach-Kopf-Anlagen	69
2.3.11.1	Langhubmaschinen	71
2.3.12	Ein-/Doppelstationen-Maschinen	71
2.3.12.1	Kombinationen der beiden Prinzipien	72
2.3.13	Blasräder	73
2.4	Blasformwerkzeuge	76
2.4.1	Formaufbau	76
2.4.1.1	Prototyp-Formen in Gießharzaufbau	76
2.4.1.2	Prototyp-Formen mit Metalloberfläche und Gießharzhinterfütterung	76
2.4.1.3	Gegossene Prototyp-Formen aus Metallguss	77
2.4.1.4	Prototyp-Formen aus Aluminium	77
2.4.1.5	Produktionsformen	78
2.4.2	Gestaltungsrichtlinien	80
2.4.2.1	Blasformführung	80
2.4.2.2	Schneidkanten	80
2.4.2.3	Formabstützung	82
2.4.2.4	Formentlüftung	83
2.4.3	Blasformkühlung	85
2.4.3.1	Gebohrte Kühlung	86
2.4.3.2	Gefräste Kühlung	86
2.4.3.3	Eingegossene Rohrkühlung	86
2.4.4	Blasformzubehör	88
2.4.4.1	Masken	88
2.4.4.2	Spreizdorne	88
2.4.4.3	Blasdorn	89
2.4.4.4	Kalibrierdorn und Kalibrierblasdorn	90
2.4.4.5	Blasnadel	91
2.4.4.6	Schlauchschießvorrichtung	92
2.4.4.7	Abstreiferplatte	93
2.4.4.8	Kopfwerkzeug (Düse und Kern)	93
2.4.4.9	Einrichtbuchse	93
2.4.5	Prozessintegrierte Folgeverfahren	94
2.4.5.1	Nachkühlen mit einer Nachkühlform	94
2.4.5.2	Komplettbearbeitung in der Blasformmaschine	95
2.4.6	Spritzblas- und Tauchblasformen	97
2.4.7	Rechnereinsatz beim Blasformenbau	97

2.5	Folgeeinrichtungen, Peripherie, „Turnkey“	99
2.5.1	Kühlaggregate	100
2.5.2	Kompressoren	101
2.5.3	Trockner	101
2.5.4	Entbutzen	102
2.5.5	Schneidmühlen	102
2.5.6	Material-Handling	104
2.5.7	Nachkühlung	105
2.5.8	Dichtigkeitsprüfung	106
2.5.9	Füllen	107
2.5.10	Verschließen	107
2.5.11	Etikettieren	108
2.5.12	Bedrucken	108
2.5.13	Verpackung	108
2.5.14	Weitere Peripheriegeräte	108
2.6	Spezielle Verfahrensvarianten	109
2.6.1	Mehrschicht-(Multilayer)/Coextrusionsblasformen	109
2.6.1.1	Coextrusion mit Barrierschicht	110
2.6.1.2	Maschinentechnologie für Mehrschicht/Coextrusion	110
2.6.1.3	Kunststoffkraftstoffbehälter	111
2.6.2	Sheet-Forming zur Herstellung von Kraftstofftanks	116
2.6.3	3D-Blasformen	117
2.6.3.1	Unterschiedliche Maschinentechnologien	119
2.6.3.2	3D-Blasformen und Coextrusion mit Barrierschicht	125
2.6.3.3	Radiale Wanddickensteuerung	125
2.6.4	Sequenzielle Coextrusion	126
2.6.4.1	Verfahrenstechnik der sequenziellen Coextrusion	128
2.6.4.2	Maschinentechnik der sequenziellen Coextrusion	129
2.6.4.3	Produktionsziel: stabile Verarbeitungsbedingungen	130
2.6.5	Extrusionsblasformen von Wasserflaschen aus Polycarbonat	131
2.6.5.1	PC bietet Vorteile	132
2.6.5.2	Maschinentechnologie für PC-Wasserflaschen	133
2.6.6	In-Mould-Labeling	134
2.6.7	Sichtstreifenausrüstung	136
2.6.8	In-Mould-Decoration	137
2.6.9	Blow-Moulding-Foam-Technology (BFT)	138
2.6.10	Mucell	140
2.6.11	Blasformen von faserverstärkten Thermoplasten	141
2.6.12	Bottlepack-Verfahren	142
3	Streckblasformen	149
3.1	Einführung	149
3.1.1	Anforderungen aus dem Verpackungsmarkt	151
3.1.1.1	Geometrische Anforderungen	152
3.1.1.2	Physikalische Anforderungen	152
3.1.1.3	Chemische Anforderungen	152

3.1.1.4	Mikrobiologische Anforderungen	153
3.1.1.5	Ästhetische Anforderungen	153
3.2	Der Rohstoff PET	154
3.2.1	Synthese von PET	154
3.2.2	Materialeigenschaften von PET	155
3.2.2.1	Die Viskosität des Materials	157
3.2.2.2	Der Comonomer-Anteil	157
3.2.2.3	Die Feuchtigkeit des PET	158
3.2.2.4	Thermische Eigenschaften	158
3.2.2.5	Acetaldehyd-Gehalt	160
3.3	Grundlagen der PET-Streckblastechnik	161
3.3.1	Allgemeines	162
3.3.2	Spritzgießen von PET (Preforms)	164
3.3.3	Grundlagen der Herstellung von PET-Flaschen	166
3.3.3.1	Aufheizprozess	167
3.3.3.2	Verstreckprozess	169
3.4	Zweistufen-Streckblastechnik	170
3.4.1	Prozessablauf beim zweistufigen Streckblasprozess	170
3.4.1.1	Aufheizprozess	172
3.4.2	Maschinentechnik für den zweistufigen Streckblasprozess	175
3.4.2.1	Linearmaschinen	177
3.4.2.2	Rundläufermaschinen	178
3.4.3	Peripherieaggregate für die Produktion	183
3.4.3.1	Kompressoren	183
3.4.3.2	Kühler	185
3.4.3.3	Inspektionssysteme	186
3.5	Einstufen-Streckblastechnik	189
3.5.1	Einsatzgebiete für Einstufenmaschinen	189
3.5.2	Verfahrensvarianten	189
3.5.2.1	Drei-Stationen-Prinzip	190
3.5.2.2	Vier-Stationen-Prinzip	190
3.5.2.3	Optimierte Nutzung der Ausstoßleistung von Spritzgieß- und Blaskavitäten	191
3.5.2.4	Stark ovale Behälter	193
3.5.3	Spritzgießen der Preforms	193
3.5.4	Der Wärmehaushalt im Preform	195
3.5.5	Handgriffe	196
3.6	Prozesstechnologie für den PET-Verpackungsmarkt	197
3.6.1	Der Relaxationsprozess	197
3.6.2	Der Prozess für heißabfüllbare PET-Flaschen	198
3.6.2.1	Pasteurisierbare PET-Flaschen	206
3.6.3	Herstellung ovaler und flachovaler PET-Flaschen	206
3.7	Barrieretechnologien für PET-Flaschen	209

4	Andere Blasformverfahren	215
4.1	„Reciprocating-Screw“-Maschinen	215
4.2	Spritzblasformen	215
4.2.1	Pressblower-Prozess	219
4.3	Tauchblasen	220
5	Produktentwicklung	223
5.1	Produkterprobung und Prüfung	224
5.2	Blasformgerechtes Konstruieren	225
5.3	CAE, Simulationsverfahren: Prozess- und Produkt-Simulation	229
5.4	Produktentwicklung beim Extrusionsblasformen	231
5.5	Machbarkeitsanalyse Sandkasten	233
5.6	Berechnung Berstinnendruck eines Scheibenwischwasserbehälters	234
5.7	Produktentwicklung beim Streckblasformen	237
5.7.1	Der passende Preform	237
5.7.2	Produktentwicklung PET-Flaschen	241
5.7.2.1	Der Entwicklungsprozess mit seinen Randbedingungen	241
5.7.2.2	Werkzeuge der Designentwicklung	249
5.7.2.3	Auslegung spezieller Flaschen	253
5.7.2.4	Herstellen von Musterflaschen	257
5.7.2.5	Testen der Musterflaschen	258
6	Der Blasformbetrieb	269
6.1	Der Extrusionsblasformbetrieb	269
6.1.1	Von der Idee zum Produkt	269
6.1.2	Umrüsten	275
6.1.3	Layout eines Blasformprozesses	279
6.2	Der PET-Blasformbetrieb	280
6.3	Qualitätsmanagement, Umweltmanagement und Arbeitsschutz	285
6.3.1	Qualität	285
6.3.2	Qualitätsmanagement	286
7	Recycling	291
7.1	Recycling in der Extrusionblasformtechnik	291
7.1.1	Mögliche Strategien der Verarbeitung von Mahlgut	292
7.1.2	Schichtaufbauten bei Blasformteilen mit Rezyklat	293
7.1.3	Recycling in der Sechs-Schicht-Coextrusion	295
7.1.4	Aufbereitung des Materials	296
7.1.5	Materialförderung, Dosierung und Plastifizierung	296
7.1.6	Massedurchsatz	298
7.1.7	Vermeiden von Fehlstellen	300
7.1.8	Schlauchkopf, Blasformwerkzeug und Blasformprozess	300
7.2	Recycling von PET	301

8 Anhang: Trouble-Shooting-Guide Extrusionsblasformen 309

8.1 Fehler am Vorformling 309

8.2 Fehler am Blasformteil 311

Register 313

Vorwort

Das positive Feedback nach Erscheinen der ersten Auflage vor nunmehr 13 Jahren hat gezeigt, dass es einen Bedarf für das erste deutschsprachige Blasformbuch gab und gibt. Nun bleibt die Zeit nicht stehen, sodass die vorliegende zweite Auflage den Fortschritten der Technik Rechnung trägt und an vielen Stellen aktualisiert und ergänzt wurde. Sicher sind diese Fortschritte nicht so gravierend wie in anderen Bereichen der Kunststofftechnik oder anderen Industrien, aber es hat sich hier und da dennoch einiges getan, was in diesem Buch berücksichtigt wird.

Wir bedanken uns bei Dr. Klaus Hartwig, der das Kapitel „Streckblasformen“ der ersten Auflage geschrieben, an der Neuauflage aber nicht mehr mitgewirkt hat. Insofern sind wir dankbar, dass wir mit Jochen Forsthövel und Dr. Thomas Friedlaende sowie deren Kollegen auf das umfassende Fachwissen der Krones AG zurückgreifen konnten. Wir danken Markus Holbach, Jürgen Moitzheim, Dieter Rothe, Dieter Hülle und Achim Trübner der Kautex Maschinenbau GmbH für die kritische Durchsicht und viele Hinweise, Anregungen, Korrekturen und Ergänzungen im Bereich der Extrusionsblasformtechnik. Daniel Leiss (Werkzeugbau Leiss GmbH) sind wir dankbar für die Überarbeitung des Kapitels zum Werkzeugbau. Ebenso danken wir Wolfgang Bonerath und Werner Metternich (Kunststoff-Maschinen Service GmbH), Günther Kappen und Max Feuerherm (Ingenieurbüro Harald Feuerherm) und Sam Dix (Trexel) für wertvolle Hinweise und Ergänzungen. Allen Beteiligten sind wir auch für das aktuelle Bildmaterial dankbar.

Da die Zeit auch in Zukunft nicht stehen bleiben wird, freuen wir uns nach wie vor über Anregungen und Verbesserungsvorschläge.

Michael Thielen und Peter Gust, Oktober 2019

Die Autoren

Michael Thielen

Dr.-Ing. Michael Thielen ist PR-Berater, Textdienstleister sowie Gründer und Herausgeber der Fachzeitschrift „bioplastics MAGAZINE“. Der Maschinenbauingenieur hat an der RWTH Aachen die Fachrichtung Kunststofftechnik studiert und dort auch promoviert. Nach mehreren Jahren in verschiedenen Vertriebs- und Kommunikations-Aufgaben – unter anderem im Krupp Forschungsinstitut, bei Krupp Kautex Maschinenbau und SIG Plastics International – machte er sich 2003 als Berater und Publizist selbstständig. Er hat mehrere Bücher zur Blasformtechnik und zu Biokunststoffen geschrieben und in zahlreichen Vorträgen, Gastvorlesungen und Lehraufträgen an Fachhochschulen im In- und Ausland kunststofftechnisches Wissen vermittelt.



Peter Gust

Univ.-Prof.Dr.-Ing. Peter Gust ist Lehrstuhlinhaber der Konstruktionslehre an der Bergischen Universität Wuppertal. Nachdem er als Bereichsleiter F&E des Technologiezentrums Kunststoff der Dr. Reinold Hagen Stiftung und als Bereichsleiter in der Automobilzulieferindustrie tätig war, vertritt er seit 2009 die Konstruktionslehre im Maschinenbau an der Bergischen Universität Wuppertal. Im Rahmen seiner Promotion hat er sich vertieft mit der Prozess-Simulation des Extrusionsblasformens befasst. Ergänzend ist er als Qualitätsmanager nach DGQ und EOQ ausgebildet.



Klaus Hartwig

Dr.-Ing. Klaus Hartwig leitet das globale Innovations-Zentrum für nasse Tiernahrung bei Mars Petcare. Nach seiner Promotion an der RWTH Aachen hat er bei der KHS Corpoplast (damals Krupp/SIG) zunächst die Verpackungs-, Prozess- und Formenentwicklung und später den Geschäftsbereich Plasmabeschichtung geleitet. Anschließend war er in der Entwicklung bei Nestlé Waters in unterschiedlichen Rollen tätig bevor er zunächst das zentrale Entwicklungszentrum und später die weltweite Entwicklung für die Gruppe führte.



Verzeichnisse: Kurzzeichen, Abkürzungen und Formelzeichen

Rohstoffe die im Blasformverfahren eingesetzt werden

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Copolymer
EVOH	Ethylenvinylalkohol
LCP	Liquid Crystal Polymer
PA 6	Polyamid 6
PA 6.6	Polyamid 6.6
PBT	Polybutylenterephthalat
PC	Polycarbonat
PC + PBT	Polycarbonat/Polybutylenterephthalat Blend
PE	Polyethylen
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
PE-HMW	hochmolekulares Polyethylen
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte
PEF	Polyethylen-Furanoat
PEN	Polyethylen-Naphtalat
PET	Polyethylenterephthalat
PLA	Poly Lactic Acid
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPS	Polyphenylensulfid
PS	Polystyrol
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
TEEE	Elastomere Polyetherester
TPE	thermoplastische Elastomere

Weitere Abkürzungen in diesem Buch

3D	Dreidimensional
AA	Acetaldehyd
BFT	Blow-Moulding-Foam-Technology
BIF	Barrier-Improvement-Factor
CAD	Computer-Aided-Design
CAE	Computer-Aided-Engineering
CHDM	Cyclohexan Dimethanol
DEG	Diethylenglykol
DFDR	Dynamisch flexibel deformierbarer Ring
DMT	Dimethylterephthalat
DSD	Duales-System-Deutschland
DXF	2D-Datenaustauschformat
EG	Ethylenglykol
EPROM	Electronically-Programmable-„Read-Only-Memory“
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Failure-Mode-Effect-Analysis
IGES	International-Graphics-Standard
IPA	Isophtalsäure
IPC	Industrie-PC
i. V.	intrinsische Viskosität
KKB	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter
PC	Personal-Computer
PCS	Post-Consumer-Scrap (Abfall z. B. aus der Sammlung des DSD)
PDCA	Plan – Do – Check – Act
PWDS	Partielle Wanddickensteuerung
QFD	Quality-Function-Deployment
RWDS	Radiale Wanddickensteuerung
SFDR	Statisch flexibler Düsenring
SIG	Schweizerische Industriegesellschaft
SiO _x	Siliziumoxid
SPC (SPS)	Speicherprogrammierbare Steuerung
STL	Stereo-Lithographie-Language
TA	Terephthalsäure
WDS	Wanddickensteuerung
WTD	Wanddickenverteilung (<i>engl.</i> : „wallthickness distribution“)

Verwendete Formelzeichen

α	Übergangswinkel
ε	Dehnung
η	Viskosität
$\dot{\gamma}$	Schergeschwindigkeit
λ	Reckgrad (Verstreckgrad)
σ	Zugspannung
δ	Eigenspannung
τ	Schubspannung
A	Fläche (projizierte Fläche der Blaskavität)
a	Temperaturleitfähigkeit
B	Breite
b	Stegbreite (bei Schnecken)
b	Schneidkantenbreite
b	Presszonenbreite
D	Durchmesser (insbesondere Schneckendurchmesser)
d	Durchmesser
E	Elastizitätsmodul
F	Schließkraft
Fo	Fourier-Zahl
H	Schneckensteigung
h	Stunde
K	Faktor
K	Kelvin
k	Konstante
k_d	dehnungsinduzierte Kristallinität
k_t	thermisch induzierte Kristallinität
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
L	Länge (Schneckenlänge, Schneidkantenlänge)
L	Länge (Zonenlänge bei Schnecken)
l	Länge
m	Meter
Mn	Molekulargewicht
N	Newton
n	Konstante, Fließindex
n	Drehzahl
nm	Nanometer
Nm^3	Normkubikmeter
P, p	Druck

Q	Durchsatz
S	Wanddicke
s	Sekunden
t	Gangtiefe (bei Schnecken)
t	Butzenkammertiefe
t	Rippenabstand
t	Wanddicke
t_k	Kühlzeit
W	Watt

1

Einführung

■ 1.1 Hohlkörper aus Kunststoff – wozu?

Hohlkörper aus Kunststoffen findet man heutzutage nahezu überall. Sie finden Verwendung in der Verpackung, Lagerung, beim Transport oder bei der Führung von Flüssigkeiten oder Schüttgütern. Derartige Kunststoffhohlkörper sind beispielsweise Flaschen, Kanister, Fässer, Tanks, aber auch Rohre oder Schläuche. Bei speziellen Verpackungsgegenständen für empfindliche Güter, wie beispielsweise elektronisches Equipment, bieten Kunststoffhohlkörper den Verpackungsgütern eine besondere Schutzfunktion. Auf Grund der doppelwandigen Struktur können stabile und dennoch leichte Strukturkomponenten hergestellt werden, beispielsweise Transportpaletten, Strukturteile in Fahrzeugsitzen oder die unterschiedlichsten Arten von tafel- oder plattenartigen Bauteilen. Kunststoffhohlkörper finden sich aber auch im Spiel- und Sportbereich, bei Deko-Objekten (Deko-Früchte oder Tiere) und einer Fülle weiterer Anwendungsgebiete.

■ 1.2 Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus Kunststoff

1.2.1 Thermoplaste

Zur Herstellung von Kunststoffhohlkörpern gibt es eine ganze Reihe unterschiedlicher Verarbeitungsverfahren. Hohlkörper aus Thermoplasten können beispielsweise hergestellt werden durch:

- *Spritzgießen* von zwei Halbschalen, die dann in einem zweiten Arbeitsschritt durch Schweißen, Kleben, Clipsen, Schrauben o.ä. zu einem Hohlkörper zusammengefügt werden.
- *Schmelzkerntechnik*; dieses Verfahren verwendet einen Kern aus einer niedrig schmelzenden (beispielsweise Zinn-Wismut-)Legierung, der mit thermoplastischem Kunststoff umspritzt und anschließend bei relativ niedrigen Temperaturen durch

ein Induktionsverfahren aus dem Spritzgussteil wieder ausgeschmolzen werden kann. Auf diese Weise lassen sich anspruchsvolle Rohrleitungen mit exzellenten Innenoberflächen und komplexer Innengeometrie, hauptsächlich für die Automobilindustrie herstellen. Die Zinn-Wismut-Legierung kann nach dem Ausschmelzen erneut verwendet werden.

- *Rotationsformen*; für dickwandige Anwendungen in geringen Stückzahlen, beispielsweise große Mülltonnen, Boote (Kajaks) oder spezielle Tanks, aber auch für dekorative Objekte wie künstliche Tiere.
- *Drehen oder Fräsen aus dem Vollen*; dieses ist, zumindest theoretisch, eine Möglichkeit, Hohlkörper aus speziellen Thermoplasten herzustellen, die sich anders nicht oder nur schwierig verarbeiten lassen (zum Beispiel PTFE).
- *Extrusion*; Rohre und Schläuche, solange sie gerade sind und einen konstanten Durchmesser und konstante Wanddicke aufweisen, sind extrudierte Kunststoff-hohlkörper.
- *Faserwickeln*; mit Endlos-Faser verstärkte thermoplastische Bändchenhalbzeuge können in einem speziellen Wickelverfahren zu anspruchsvollen Strukturkomponenten verarbeitet werden.
- *Twin-Sheet-Forming*; zwei spezielle Breitschlitzdüsen produzieren zwei Schmelze-„Felle“ beispielweise in unterschiedlichen Farben. Es kommen aber auch tafelförmige, wieder erwärmte Halbzeuge zum Einsatz. Durch Schließen einer zweiteiligen Form werden die beiden Tafeln (Folien, „Felle“) miteinander verschweißt und schließlich zu einem Hohlkörper aufgeblasen [1].
- *Blasformen*; Gegenstand dieses Buches, ist eine Familie von Verfahren, die es ermöglicht, eine große Bandbreite thermoplastischer Hohlkörper in hohen Ausstoßleistungen zu produzieren.

1.2.2 Duroplaste

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass auch duroplastische Harze zu Hohlkörpern verarbeitet werden können. Duroplaste finden in der Regel Anwendung für technische Bauteile, große Tanks oder Silos. Sie werden häufig mit Glasfasern, Kohlenstofffasern oder anderen Verstärkungsfasern verstärkt. Es kommen Verfahren wie das Faser-Harz-Sprühen auf einen Kern, Faserwickelverfahren und das Handlaminieren als die am häufigsten verwendeten Verfahren zum Einsatz. In einem Anwendungsbeispiel werden extrusionsblasgeformte Innenbehälter (sog. Liner) aus PE-HD mit Glasfasern und ungesättigtem Polyesterharz umwickelt. Die so erzeugten druckfesten Behälter werden dann in einen spritzgegossenen Außenbehälter eingefügt und am Markt als leichtgewichtige Flüssiggasbehälter angeboten.

■ 1.3 Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper

Durch Blasformen werden Hohlkörper aus thermoplastischen Kunststoffen mit nahezu beliebiger Geometrie gefertigt. Das sind zum Beispiel pharmazeutische Verpackungen mit Inhalten unter einem Milliliter und technische Artikel (z.B. Kunststoff-Kraftstoff-Behälter (KKB), Luftführungen im Kfz oder Öltanks) mit bis zu 10 000 l Fassungsvermögen. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren sind das Extrusionsblasformen und das Streckblasformen, auf die in diesem Buch detailliert eingegangen wird. Während durch Streckblasformen nahezu ausschließlich Flaschen aus PET (seltener auch PEN oder PVC, neuerdings auch PLA) in hohen Stückzahlen hergestellt werden, ist das Spektrum für extrusionsblasgeformte Hohlkörper ungleich größer.

Typische Extrusionsblasteile sind Transport-, Verpackungs- und Lagerbehälter, wie Flaschen (Bild 1.1 und Bild 1.2), Dosen, Tuben, Kanister (Bild 1.3), Fässer und Lager tanks zum Beispiel für Heizöl und Chemikalien (Bild 1.4), IBC (Intermediate Bulk Container, Bild 1.5) und faltbare, thermisch isolierende Transportboxen, z.B. mit Drainagerinnen im Boden für gefrosteten Fisch. Letztere lassen sich nach Gebrauch platzsparend flachlegen und im Mehrwegsystem wiederverwenden.



Bild 1.1 Extrusionsblasgeformte Flaschen (Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.2 Extrusionsblasgeformte PC-Wasserflaschen (Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.3 Extrusionsblasgeformte Kanister (Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.4 Extrusionsblasgeformte industrielle Großverpackungen (Fässer und Lagertanks)
(Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.5 Extrusionsblasgeformter Intermediate Bulk Container (IBC)
(Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.6 Extrusionsblasgeformter Kunststoffkraftstoffbehälter (KKB) (Bild: Kautex Maschinenbau)

Eine wachsende Bedeutung haben auch technische Blasformteile für Kraftfahrzeuge, wie Kunststoff-Kraftstoffbehälter (Bild 1.6), Kraftstoff-Einfüllrohre, Öl- und Wasserbehälter, Ausgleichsbehälter, Spoiler, Stoßfängerträger, Kopfstützen, Armaturentafeln, Kindersitze, Faltenbälge sowie Luftführungskanäle, Ansaugleitungen und weitere Rohrleitungen im Innen- und Motorraum (Bild 1.7).

Für die Hausgeräte- und Elektronikindustrie werden unterschiedlichste Teile, wie Sprüharme für Geschirrspüler, Gerätetüren und -wände für Waschmaschinen und Computer (Bild 1.8), Entsalzergehäuse, Kondensationstrocknerbehälter, Staubsaugergehäuse- und -Auffangbehälter, Boilergehäuse, Wasserführungsteile, Fußbodenheizungselemente, Sitzschalen und Tanks für Rasenmäher etc. nach dem Extrusionsblasformverfahren gefertigt. Hinzu kommen Blasformteile für die Sport- und

Freizeitindustrie (Kajaks, Paddleboards, Ski-Boxen, Kühlboxen und -Akkus, Kleinkinderfahrzeuge, Teile für Kindertraktoren, Klettergerüste, Rutschen usw.), die Medizintechnik (z. B. Behälter für Blutdruckmessgeräte, Klistierbehälter, Infusionsflaschen, Augentropfenpipetten, Ampullen usw.) und Koffer für Werkzeuge, Videokassetten, Mikroskope, Nähmaschinen oder Laptops etc., meist mit integrierten Aufnahmevorrichtungen [2].



Bild 1.7 Extrusionsblasgeformte technische Teile (Bild: Kautex Maschinenbau)



Bild 1.8 Extrusionsblasgeformtes flaches Panel
(Unterbodenverkleidung)
(Bild: Kautex Maschinenbau)

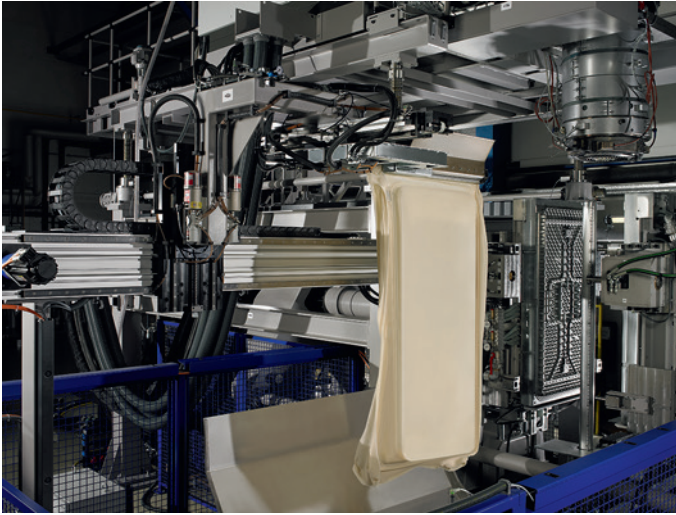


Bild 1.9 Extrusionsblasgeformtes flaches Panel (Tischplatte) (Bild: Kautex Maschinenbau)

■ 1.4 Historie des Blasformens von Hohlkörpern

[nach 10]

Das Herstellen von Hohlkörpern durch Aufblasen ist eine sehr alte Technik. Glas war der erste Werkstoff, der verblasen wurde. In Meyers Konversationslexikon sind Angaben über ein Relief in den Königsgräbern von Ben Hassan zu finden, auf denen Glasbläser bei der Arbeit dargestellt sind. Das Relief ist auf 1800 v. Chr. datiert. Die älteste Glashütte wurde in Ägypten gefunden und ist ungefähr auf 1350 v. Chr. datiert. Der Entwicklungsprozess des Blasformens bis zum heutigen Stand erfolgte also in annähernd 4000 Jahren und ist noch nicht abgeschlossen.

Zum Glasblasen wird eine Glasmacherpfeife verwendet, die aus einem 100 bis 150 cm langen Eisenrohr besteht. Die Pfeife ist an einem Ende mit einem Mundstück und in der Mitte mit einem isolierten Griff versehen. Mit dieser Pfeife entnimmt der Glasmacher einen Posten Glas aus der Schmelze und bläst ihn zu einem Hohlkörper auf. Durch geschicktes Wiedererhitzen und ständiges Blasen und Rotieren kann eine große Blase erzielt werden. Diese wird durch Schwingen der Blase am Ende der Pfeife zu einem Zylinder geformt [3]. Wesentlicher Entwicklungsschritt des Glasblasens war die Verwendung von so genannten „Modeln“ – Hohlformen aus Holz. Durch diese Formen ist es möglich, größere Stückzahlen von Glasgefäßen der gleichen Gestalt und durch Einsatz mehrteiliger Modeln auch kompliziertere Geometrien zu fertigen.

Die Entwicklung der ägyptischen Kunst des Glasblasens bis zu den heute industriell eingesetzten Blasformtechniken zur Herstellung von Kunststoffhohlkörpern erfolgte im Wesentlichen angetrieben durch:

- die Markterfordernisse ökonomischer, aber auch ökologischer Art;
- die Entwicklung und wirtschaftliche Verfügbarkeit geeigneter Rohstoffe, die den Besonderheiten dieser Verarbeitungstechnik gerecht wurden und darüber hinaus neue Anwendungsbereiche erst erschlossen (z. B. im Bereich der Kunststoff-Kraftstoff-Behälter);
- die Fortschritte in den allgemeinen Maschinenbautechnologien.

In einer US-Patentschrift vom 24. Juni 1851 mit dem Titel „Improvement in Making Gutta-Percha Hollow Ware“ (Verbesserung in der Herstellung von Hohlkörpern aus Guttapercha¹) beschreibt S. T. Armstrong die Bildung eines rohrartigen Vorformlings, der durch Innendruck an eine Werkzeugwand geblasen wird [4]. Guttapercha ist ein Kautschukprodukt und wird aus dem Guttapercha-Baum gewonnen. Damit hatte die industriell genutzte Blasformtechnologie ihren Anfang genommen. Es folgten weitere Patente, die die Verarbeitung von Celluloid und Gummi zu vornehmlich technischen Artikeln und Spielzeug (Bild 1.10) beschreiben; so z. B. auch zu Weihnachtsbaumkugeln, indem zwischen zwei Celluloidfolien Dampf eingeblasen wird, sodass diese erweichen und sich beim Zufahren der Form an die Kontur anlegen; die Folienränder werden hierbei verschweißt. Der Verarbeitung der damals verfügbaren Materialien waren allerdings Grenzen gesetzt. Bevor weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik möglich waren, mussten neue Materialien gefunden werden, die die hohen Anforderungen an die Verarbeitbarkeit erfüllten.

Im Jahr 1835 gelang dem Chemiker Henri Viktor Regnault (1810 bis 1878) erstmals die Polymerisation von Vinylchlorid. Aber erst 1929 wurde ein Produktionsverfahren zur Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC) durch die Firma I. G. Farben, Ludwigshafen entwickelt. 1939 wurden in Deutschland ca. 2000 t PVC produziert und auch exportiert [6]. Nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die USA mit einer Produktion von 250 000 t PVC im Jahr 1959 Deutschland überholt.

Die Geschichte der Polyolefine begann am 27. März 1933 in den Laboratorien der ICI, als R. O. Gibson bei einer mit Ethylen und Benzaldehyd durchgeführten Reaktion (170 °C, 1400 bar) auf der Innenwandung des Autoklaven einen weißen, wachsartigen Belag entdeckte, der sich als Polyethylen erwies. Nach vielen Fehlschlägen führte erst im Dezember 1935 ein Versuch – und zwar nur dank eines undicht gewordenen Autoklaven – zur Gewinnung von 8 g Polyethylen. Die entwichene Ethylenmenge wurde durch frisches Ethylen ersetzt, das zufällig die zur Auslösung der Polymerisation richtige Sauerstoffmenge enthielt. Am 3. September 1939 lief eine

¹ Guttapercha (Guttapertja, von getah-pertcha = Milchsaft, schnellgerinnender Milchsaft von angeritzten Bäumen, z. B. Palaquium gutta oder Sapotaceae): thermoplastische Eigenschaften im Temperaturbereich unter 100 °C, auch vulkanisierbar ähnlich Kautschuk, chemische Formel $(C_5H_8)_n$ [4].

200 t/a-Anlage an. Dieser verlustarme Isolationswerkstoff spielte in der Radartechnik der Alliierten im Zweiten Weltkrieg eine entscheidende Rolle. Mit der Umstellung der amerikanischen Kriegsproduktion auf den zivilen Bedarf begann der einmalige Siegeszug des so genannten Hochdruckpolyethylens [7].



Bild 1.10 Babyrasseln aus Cellulosenitrat, ca. 1890 [5]

Wenige Jahre danach erzielte die inzwischen weltweit betriebene Polyolefinchemie neue bahnbrechende Erfolge. Der Phillips Petroleum Comp., der Standard Oil of Indiana und K. Ziegler vom Max Planck Institut für Kohleforschung in Essen-Mühlheim gelangen 1953 in kurzem zeitlichen Abstand die Niederdruckpolymerisation von Ethylen. G. Natta, Mailand, fand auf der Grundlage der Zieglerschen Arbeiten Wege, auch die höheren α -Olefine zu polymerisieren und durch die Wahl spezifisch wirkender Katalysatoren und entsprechender Prozessführung die sog. stereoregulierte Polymerisation von Propylen und Buten-1 durchzuführen. ICI ergänzte im Jahre 1967 das Sortiment durch das transparente Poly-4-methylpenten-1, das heute nur noch in Japan hergestellt wird.

Im Jahr 1977 berichtet die Union Carbide Corp. (UCC), dass es ihr gelungen sei, nach ihrem für PE-HD entwickelten Gasphasen-Verfahren auch ein lineares Niederdruckpolyethylen (PE-LLD) herstellen zu können. Damit gewann eine bereits seit Mitte der 1960er Jahre (DuPont Canada Sclair) und 1970 (Philips) bekannte, jedoch wenig beachtete neue PE-Produktfamilie weltweit das Interesse von Forschung und Entwicklung.

Die Weiterentwicklung des Blasformens erfolgte erst, nachdem in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts neue Materialien zur Verfügung standen. Die Glasindustrie der USA begann, Behälter und Verpackungen aus PVC zu fertigen. Die neuen Behälter waren weniger zerbrechlich als Glas, und die US-Glasindustrie schaffte es, dass sich bis nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges keine externe Konkurrenz auf dem Markt etablieren konnte [6]. In den Jahren von 1938 bis 1945 wurde eine Vielzahl von Patenten zum Blasformen vornehmlich von der amerikanischen Glasindustrie angemeldet. Bemerkenswert ist das US-Patent Nr. 2,260,750 mit dem Titel „Method of a Machine for Making Hollow Articles from Plastic“ von William H. Kopitke (Plax

Corp.), 1938. Es beschreibt die Herstellung eines Vorformlings und das Blasformen in erster Wärme. Für das US Army Medical Corps wurden zum erstenmal in den Jahren 1939 bis 1946 in einer industriellen Serienfertigung Kunststoffflaschen von der Firma Owens Illinois Glascorporation produziert [6]. Heute können die damals eingesetzten Verfahren dem Spritzblasen zugeordnet werden.

Die Entwicklung der Blasformtechnologie erfolgte in Europa gegen Ende der 40er Jahre und damit etwas später als in den USA. Dort lag die Entwicklung hauptsächlich in der Hand der Glasindustrie. Folglich basierten viele der neuen Techniken für die Verarbeitung der Kunststoffe auf den Techniken zur Verarbeitung von Glas. Um die Monopolstellung nicht zu gefährden, bildete die US-Glasindustrie eine in sich geschlossene Gruppe von „Kunststoffbläsern“. Somit verliefen die Entwicklungen in Europa völlig unabhängig von denen der USA. Es waren vornehmlich deutsche Ingenieure und Unternehmer, die sich als Pioniere der Blasformtechnik einen Namen machten. Hierzu zählten vor allem Protagonisten wie die Gebrüder Reinold und Norbert Hagen (Kautex Werke ab ca. 1948) (Bild 1.11), Stefan und Rainer Fischer (Fischer W. Müller ab ca. 1957), Gottfried und Horst Mehnert (Bekum ab ca. 1959), M. Rudolf (Rudolf) und Erhard Langecker (Battenfeld) [6].

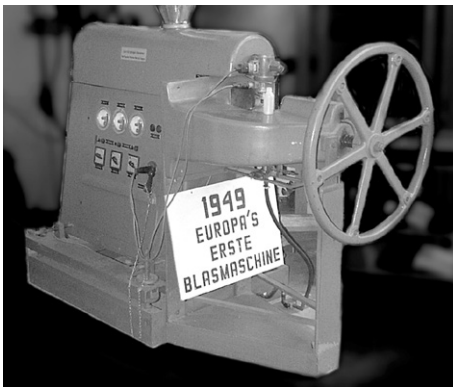


Bild 1.11 Europas erste Blasformmaschine (Bild: Kautex Maschinenbau)

Die Kautex Werke, die heute in das Unternehmen Kautex Maschinenbau GmbH und in den Kunststoffverarbeiter Kautex Textron GmbH & Co. KG übergegangen sind, waren seit ihrer Gründung in Bonn ansässig. Um 1955 überquerten die ersten Blasformautomaten der Firma Kautex den Atlantik und brachten Bewegung in die Entwicklungen in den USA [4].

Nicht weit von Bonn, in Troisdorf, ist eine Niederlassung des Dynamit Nobel-Konzerns [8]. Bereits Alfred Nobel experimentierte mit Ersatzstoffen für Kautschuk, Guttapercha und Leder auf der Basis von Nitrozellulose. Dies waren erste Ansätze zur modernen Kunststoffchemie und Kunststoffverarbeitung, die für Dynamit Nobel von besonderer Bedeutung werden sollten. 1905 produzierte das Werk Troisdorf den ersten technisch verwertbaren Kunststoff: Der Sprengstoff-Rohstoff Nitrocellu-

lose wurde zu Celluloid verarbeitet. 1923 kam die erste Spritzgießmasse der Welt auf den Markt. Die Herstellung von Kunststoff-Formteilen begann. 1930 nahm die „Rheinische Spritzguss-Werk GmbH“ (RSW) in Köln, auf die die jetzige Dynamit Nobel Kunststoff GmbH zurückgeht, die Produktion auf.

Durch die Entwicklungen bei Dynamit Nobel angeregt, konstruierten die Gebrüder Hagen die ersten Formteile aus Kunststoffplatten. Die Konstruktion war aus der Blechverarbeitung mit den Schritten Biegen und Schweißen abgeleitet. Um die Fertigung zu vereinfachen und wirtschaftlicher zu werden, entwickelten die Gebrüder Hagen 1949 die erste Extrusionsblasformmaschine, die es ermöglichte, Flaschen, Behälter und andere Hohlkörper aus Kunststoff herzustellen [9]. Merkmale der Maschine, wie z. B. die Anordnung des Blasdornes, sind noch heute in modernen Blasformmaschinen wiederzufinden. Ein Nachbau dieser Blasmaschine steht im Technikum der Dr. Reinold Hagen Stiftung, Bonn, die Dr. Reinold Hagen aus dem Erlös des Firmenverkaufs im Jahr 1988 gegründet hat. In den Folgejahren etablierten sich die blasgeformten Kunststoffverpackungen als bruchsicher und chemisch resistent. Durch Blasformen konnten wesentlich aufwändigere Geometrien erzeugt werden, als es in Metall bzw. Stahlblech möglich war [4]. Bis in die 60er Jahre wurde der größte Teil der Grundlagen, auf denen noch heute Markt und Technik für das Extrusionsblasformen aufbauen, erarbeitet [4]. Die in dieser Zeit entwickelten Verfahren und der aktuelle Stand der Technik werden im nächsten Kapitel zur Verfahrensbeschreibung des Extrusionsblasformens vorgestellt.

Einige Pioniere der Blasformtechnik sind:

- 1851: US-Patent 8,180
 - Sammlung T. Armstrong, New York, N. Y.
 - Improvement in Making Gutta-Percha Hollow Ware
- 1881: US-Patent Nr. 237,168
 - W.B. Carpenter
 - Process of, and Apparatus for, Molding Hollow Forms of Celluloid or Like Plastic Material (Bild 1.12)

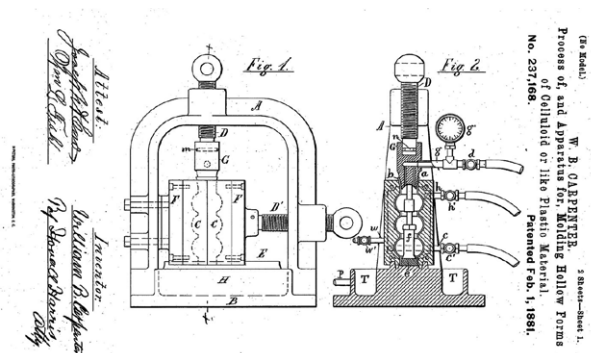


Bild 1.12 Auszug aus US Patent 237,168 (1881)

- 1913: US-Patent 1,052,081
 - E. Miltener
 - Manufacture of Handles of Plastics Material
- 1936: US-Patent 2,029,706
 - W.J. De Witt
 - Method and Apparatus for Hosiery Products
- 1940: US-Patent Nr. 2,222,461
 - W.J. De Witt
 - Hosiery Form
- 1941: US-Patent 2,260,750
 - W.H. Kopitke
 - Method of and Machine for Making Hollow Articles from Plastic
- 1942: US Patent Nr. 2,288,454
 - J.R. Hobson
 - Method of Forming Hollow Articles of Plastic Material
- 1942: US Patent Nr. 2,298,716
 - S.T. Moreland et. al.
 - Machine for Molding Thermoplastics

Eine (sicher unvollständige) Übersicht von deutschen Patent- und Gebrauchsmusterschriften gibt die folgende Liste:

- 1899: Deutsches Patent Nr. 112 770
 - Rheinische Gummi- und Celluloid Fabrik, Neckarau-Mannheim
 - Verfahren zur Herstellung geblasener Hohlkörper aus Celluloidröhren
- 1959: DE 971 333
 - Reinold und Norbert Hagen
 - Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Flaschen und ähnlichen mit einer Einfüllöffnung versehenen Hohlkörpern aus thermoplastischem Kunststoff
- 1959: DE 1 807 234
 - Gottfried Mehnert, Bekum, Gebrauchsmuster:
 - Vorrichtung zur Herstellung von Hohlkörpern aus thermoplastischem Kunststoff, wie Flaschen und anderen, mit einer Einfüllöffnung versehenen Behältern
- 1965: DE1038750
 - Reinold Hagen
 - Blasverfahren zur Herstellung von Flaschen und ähnlichen Hohlkörpern aus organischen thermoplastischen Kunststoffen sowie Vorrichtung zu deren Durchführung

- 1961: DE1109353
 - Norbert Hagen
 - Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Flaschen und dgl. aus thermoplastischem Kunststoff
- 1965: DE1187006
 - Gottfried Mehnert
 - Blasdüse zum Kalibrieren der aus Halsteil und Randlippe bestehenden von im Blasverfahren herzustellenden Hohlkörpern aus thermoplastischen Kunststoffen
- 1968: DE1130151
 - Norbert Hagen
 - Verfahren beim Herstellen von Hohlkörpern, wie Flaschen aus thermoplastischem Kunststoff und Hohlform zur Durchführung desselben

1.4.1 Entwicklung der PET-Streckblastechnologie

Bei dem englischen Rohstoffhersteller ICI wurde im Jahre 1941 die gute Eignung des PET zum Herstellen und Verstrecken von Fasern für die Textilindustrie entdeckt und bis in die 50er Jahre weiterentwickelt. Seitdem ist der Verbrauch von PET als Rohstoff für die Textilindustrie bis heute auf über 29 Millionen Jahrestonnen gewachsen.

Von ca. 1960 an wurde die Verarbeitung von PET zu Folien und das biaxiale Verstrecken dieser Folien für die Verpackungsindustrie entwickelt. Dabei wurde festgestellt, dass die Eigenschaften der Folien durch sequentielles Verstrecken in der Längs- und anschließend der Querrichtung wesentlich verbessert werden konnten. So zeigten biaxial verstreckte Folien hervorragende mechanische Eigenschaften und eine sehr geringe Gas-Durchlässigkeit auf.

Gleichzeitig begann in den 60er Jahren der Hamburger Maschinenbauer Heidenreich & Harbeck (Vorgänger der heutigen SIG Corpoplast) mit der Entwicklung einer Hochleistungsblasmaschine zum Streckblasformen von Flaschen aus PVC für Bier.

Die Herstellung von Flaschen aus PET wurde dann in den frühen 70er Jahren bei Du Pont in den USA entwickelt und 1973 zum Patent angemeldet [11]. Wirtschaftliche Bedeutung erlangte es erst ca. 10 Jahre später in den 80er Jahren in der Getränkeindustrie. Bis zu dieser Zeit wurden kohlenensäurehaltige Erfrischungsgetränke in Glasflaschen und Dosen abgefüllt und vertrieben. Beide Materialien eignen sich aufgrund ihres spezifischen Gewichtes und der Bruchgefahr beim Glas nicht für großvolumige Behälter mit einem Volumen von über einem Liter. Durch die Verwendung von PET als Rohstoff konnten erstmals Erfrischungsgetränke in Flaschen mit einem Volumen von 2,0 l vermarktet werden. Der Erfolg des PET bei großen Volu-

men hat dann zur Substitution anderer Verpackungsmaterialien geführt. So betrug beispielsweise das mittlere Volumen von PET-Flaschen 1990 noch mehr als 1,5 l und ist bis 2004 auf unter 0,8 l gesunken. Im gleichen Zeitraum ist der Verbrauch von PET zur Herstellung von Flaschen um den Faktor 30 gestiegen und beträgt heute mehr als 14 Millionen Tonnen pro Jahr.

In 2018 wurden über 40 % aller Erfrischungsgetränke und über 70 % des stillen und karbonisierten Wassers in PET abgefüllt. Mit den Saft- und Fruchtsaft-, den Sport- und Energie- sowie den Tee- und Kaffeegetränken füllt die Getränkeindustrie heute über 450 Milliarden Liter in PET ab. Der Anteil des PET am gesamten Verpackungsmix für die Abfüllung von Getränken lag damit in 2008 bei fast 50 % und wächst kontinuierlich [12]. Typische Liniengeschwindigkeiten in der abfüllenden Industrie betragen heute 300 bis 1000 Flaschen pro Minute.

Literatur zu Kapitel 1

- [1] Illig, A.: Thermoformen in der Praxis, Hanser, 1997
- [2] Ast W.: in: Johannaber F.: Kunststoffmaschinenführer, 4. Ausgabe, Hanser, 2004
- [3] Internetzugriff am 5.7.2019, <http://www.mc-bailleux.ch/glasgeschichte.htm>
- [4] Holzmann R.: Die Entwicklung der Blasformtechnik von ihren Anfängen bis heute, Kunststoffe 69(1979)10, S. 704 (urspr. Quelle dort nicht näher verzeichnet)
- [5] DuBois, J. H.: Plastics History U.S.A., Cahners Pub. Co., Boston, 1972
- [6] Müller, A.: Studien zur Prozesssimulation des Blasformens, unveröffentlichte Studienarbeit am Institut für Mechanik und Regelungstechnik der Universität-Gesamthochschule Siegen, 1998
- [7] Domininghaus, H.: Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1998
- [8] Internetzugriff am 23.12.1998, <http://www.dynamit-nobel.com/deutsch/nbsp/index.html>
- [9] Internetzugriff 28.12.1998, <http://www.labtops.de/catalogue/dt/28001dt.htm> (Link zum Stand 2019 nicht mehr verfügbar, aktuellere Quellen nicht bekannt.)
- [10] Gust, P.: Prozess-Simulation des Extrusionsblasformens von Kunststoffhohlkörpern, Dissertation an der Universität Siegen, 2001
- [11] Wyeth, N.; Roseveare, R. N.: Biaxially oriented Poly(ethylene Terephthalate) Bottle, U.S. Patent, 1973; V.-Nr.: 3 733 309
- [12] Fa. Krones, persönliche Information 2019

2

Extrusionsblasformen

Blasformen ist eine ganze Familie von Kunststoffverarbeitungsverfahren, denen eines gemeinsam ist: Die eigentliche Formgebung findet durch Aufblasen eines plastisch deformierbaren Vorformlings gegen eine gekühlte Formwandung statt. Dabei erstarrt der thermoplastische Kunststoff und ein Hohlkörper kann der Form entnommen werden. Eines der Blasformverfahren mit der größten wirtschaftlichen Bedeutung ist das *Extrusionsblasformen*. Ein weiteres wichtiges Blasformverfahren, das gerade in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat, ist das Streckblasformen, das in Kapitel 3 beschrieben wird.

■ 2.1 Prozessablauf beim Extrusionsblasformen

Die grundsätzlichen Verfahrensschritte des Extrusionsblasformens sind (Bild 2.1):

- Plastifizieren und Bereitstellen der thermoplastischen Schmelze in einem Extruder.
- Umlenken der Schmelze in eine senkrechte Fließbewegung nach unten und das Ausformen eines schlauchförmigen Schmelze-„Vorformlings“. Die Erzeugung dieses Vorformlings geschieht im so genannten Schlauchkopf (auch Blaskopf oder nur kurz Kopf genannt).
- Eine in der Regel aus zwei Halbschalen bestehende Form (Blasformwerkzeug) wird um den frei unter dem Kopf hängenden Vorformling herum geschlossen und quetscht diesen an beiden Enden (oben und unten) ab.
- Einschießen eines Blasdorns oder einer (ggf. mehrerer) Blasnadel(n).
- Aufblasen des plastischen Vorformlings gegen die gekühlten Wände des Blasformwerkzeugs, wo der Kunststoff abkühlt, erhärtet und die endgültige Form des Formteils annimmt.
- Entlüften
- Öffnen der Form und Entformen des blasgeformten Teils.
- Entfernen der abgequetschten „Butzen“-Abfälle“ an beiden Enden des Blasformteils (Entbutzen).

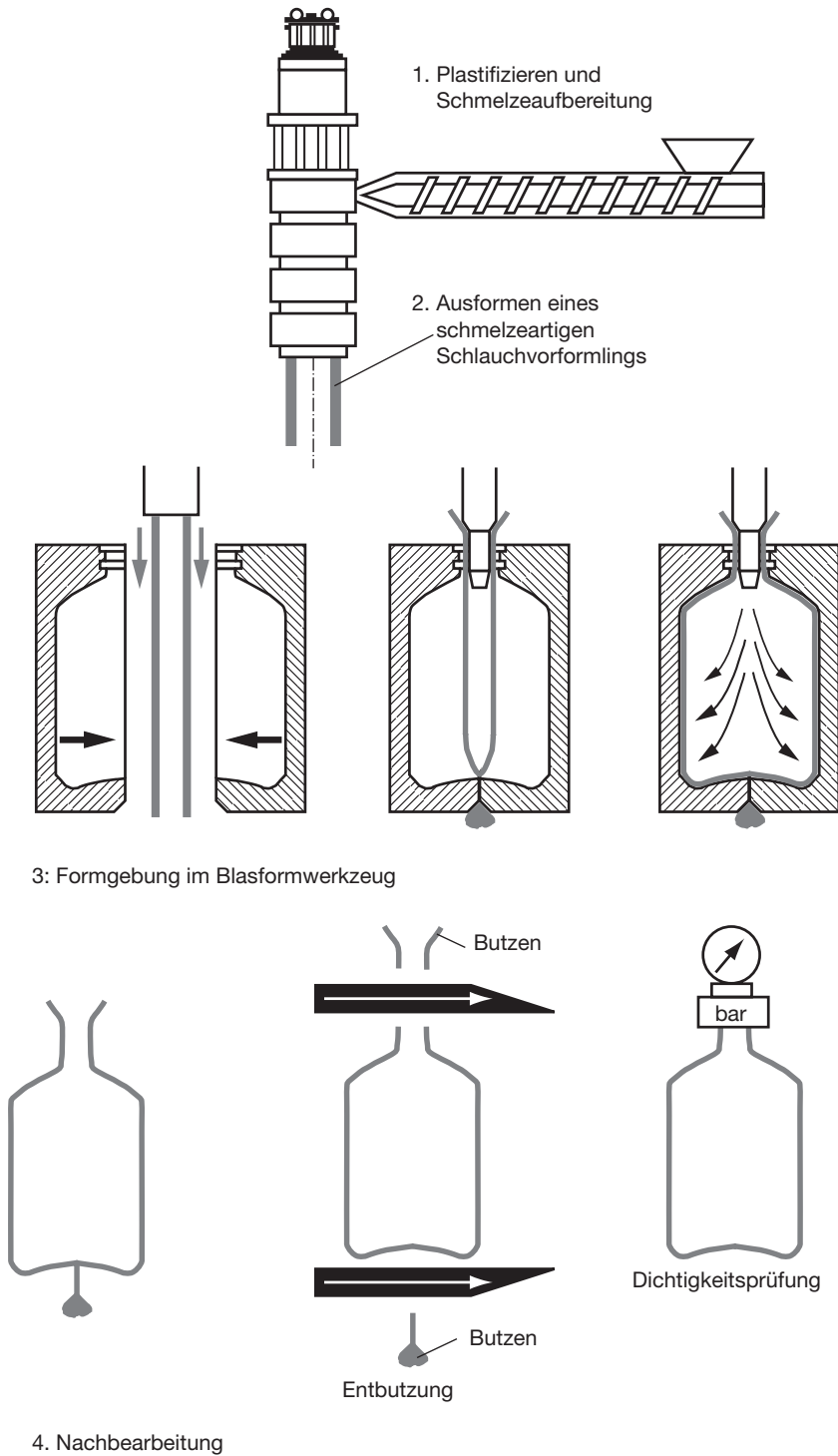


Bild 2.1 Grundsätzliche Verfahrensschritte beim Extrusionsblasformen